ÕPPEMATERJAL

Rohetehnoloogiate arengud täna ja tulevikus

Sihtrühm	Gümnaasiumiõpilased (10.-12. klass). Eelteadmisi teema kohta ei eeldata.
Eeldused	Soovitatav on enne läbida Teema 1, mis selgitab rohetehnoloogia olemust ja ringmajandust.
Kasutus	Õpetaja tugimaterjal. Sisaldab selgitusi ja näpunäiteid, mis aitavad tundi üles ehitada.
Ajaline kestus	Üks 45-minutiline tund, millele järgneb 45-minutiline grupiharjutus.
Eesmärk	Anda ülevaade sellest, kus rohetehnoloogia täna arengu poolest asetseb ja millised on tulevikuväljavaated.
Õpiväljundid	Tunni läbinud õpilane: • kirjeldab, kus rohetehnoloogia täna arengu poolest asetseb (taastuvenergia, elektritransport, ringmajandus); • selgitab oma sõnadega vähemalt kahte lähituleviku läbimurret (nt roheline vesinik, tehisintellekt, süsiniku kogumine, uued materjalid); • selgitab, mida tähendavad tööstussümbioos, digitaalne tootepass ja parandamisõigus; • nimetab rohetehnoloogia peamisi väljakutseid (kriitilised toormed, energia salvestamine, õiglane üleminek); • põhjendab, miks roheüleminek puudutab paljusid elualasid, mitte ainult insenere.

Kuidas materjali kasutada

Materjal on koostatud nii, et selle saaks kasutusele võtta õpetaja, kes pole rohetehnoloogiaga varem kokku puutunud. Rohelistes kastides on pakutud harjutuseks arutelukohad klassile ning kollases kastis on juhitud tähelepanu kohtadele, milles võib kergemini eksida.

1 Rohetehnoloogia areng

Rohetehnoloogia ehk säästev ja keskkonnahoidlik tehnoloogia vähendab inimtegevuse mõju keskkonnale. Sellised tehnoloogiad arenevad tänapäeval üha kiiremini.

1.1 Kuidas teame, kui kaugel rohetehnoloogia areng täna on?

Üheks näiteks saab tuua Rahvusvahelise Energiaagentuuri (IEA) avaliku andmebaasi[1], mis jälgib **üle 600 puhta energia tehnoloogia** arengut kogu maailmas. See andmebaas katab vaid üht osa rohetehnoloogiast – energiaga seotud lahendusi.

> **Arutelukoht klassile**
>
> IEA andmebaas jälgib ainult energiatehnoloogiaid. Milliseid rohetehnoloogia valdkonnad veel olemas on?

Mitmed teised rohetehnoloogia valdkonnad, näiteks veepuhastus, jäätmekäitlus ja ökoloogiline põllumajandus, jäävad IEA andmebaasist välja. Energia on aga rohetehnoloogia kõige suurem ja kiiremini arenev osa, mistõttu annab see andmebaas hea pildi üldisest suunast.

Rohetehnoloogia valdkond sisaldab sadu erinevaid lahendusi paljudes eluvaldkondades – tööstuses, transpordis, ehituses, energeetikas ja mujal. Suur osa neist tehnoloogiatest on alles arenemas: 2024. aasta seisuga oli vaid umbes kolmandik tehnoloogiatest turuküps, ülejäänud alles katsetus- või tutvustusjärgus. Mõned tehnoloogiad arenevad väga kiiresti: näiteks naatriumioonaku tõusis viie aastaga laborilahendusest peaaegu turuküpseks, ja vesinikuga töötavad veokid ja laevad on samuti teinud kiire arenguhüppe.

Taastuvenergeetika valdkonnas on viimastel aastatel lisandunud rohkem tootmisvõimsust kui fossiilkütustel põhinevat, elektritransport levib samuti jõudsalt: elektriautode hulk kasvab aasta-aastalt ja Euroopa Liit on seadnud sihi vähendada uute autode heitkoguseid märkimisväärselt aastaks 2035, kuigi täpne eesmärk on poliitiliselt veel arutlusel. Vast kõige olulisem on aga see, et ringmajandus on jõudnud seadusandlusesse. Hea näide on Euroopa Liidu pakendimäärus: selle kohaselt peab kogu pakend olema 2030. aastaks korduvkasutatav või ringlussevõetav, pakendit tuleb vähendada minimaalse vajalikuni ja üha suurem osa pakendijäätmetest ringlusse võtta. Euroopa Liit on loonud ka raamistiku (ökodisaini määrus), mis hakkab tooteid järk-järgult kohustama olema vastupidavad, parandatavad ja ringlussevõetavad; esimesed konkreetsed nõuded juba kehtivad, näiteks nutitelefonidele esitatav nõue tagada varuosad ja tarkvarauuendused pikema aja jooksul. Jääkide väärindamine pole enam vabatahtlik lisategevus, vaid on muutumas normiks.

Järgnev tabel annab lühiülevaate erinevate rohetehnoloogiate arengust

Valdkond	Mis suunas toimub areng	Kus seda Eestis kohtab
Taastuvenergia ja salvestus	Päikese- ja tuuleenergia tehnoloogia on viimaste aastakümnetega muutunud kordades odavamaks – paneelide ja tuulikute ehitamine maksab täna palju vähem kui varem.	Päikese- ja tuulepargid, akupargid ning energiasalvestuse arendajad.

[1] https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide

	See ei tähenda alati kohe odavamat elektriarvet. Üha enam panustatakse energia salvestamisse (akud, vesinik) ja nutivõrkudesse, mis hoiavad tootmist ja tarbimist tasakaalus.	
Veepuhastus / veekäitlus	Reovett ei nähta enam pelgalt jäätmena: reoveesettest toodetakse biogaasi (elekter ja soojus) ning väetist. Veepuhastust täiendavad ka uued meetodid, näiteks membraan- ja elektrokeemilised protsessid.	Mitme linna reoveepuhastusjaamas (nt Tallinn, Narva, Kuressaare), kus settest toodetakse biogaasi ja energiat ning sete kompostitakse haljastusmullaks.
Jäätmekäitlus ja ringlus	Sorteerimine muutub üha automaatsemaks: optilised andurid ja robotid eraldavad materjale täpsemalt, mis tõstab ringlussevõetava materjali väärtust.	Jäätmekäitlus- ja taaskasutusettevõtete sorteerimisliinidel.
Põllumajandus ja toidutehnoloogia	Täppisviljeluses kasutatakse andureid, satelliidiandmeid ja roboteid, et anda igale taimele täpselt nii palju vett ja väetist kui vaja; areneb ka vertikaalne põllumajandus ja toidutootmine.	Põllumajandusettevõtetes, kus kasutatakse täppisviljeluse seadmeid ja andmepõhist juhtimist. Vertikaalne toidu kasvatamine on üha levinud ka jaekaubanduses ning inimeste oma tarbeks toidu kasvatamisel.
Energiatõhus ehitus	Uusi hooneid ehitatakse energiatõhusalt (liginullenergia nõue) ning vanu kortermaju soojustatakse tehases eeltoodetud fassaadielementidega, mis kiirendab tööd ja vähendab ehitusjäätmeid.	Kõigis uutes hoonetes (liginullenergia nõue kehtib alates 2020) ning tehaselise renoveerimise projektides, näiteks KredExi pilootprogrammis renoveeritud kortermajades. Eestis on hinnanguliselt umbes 14 000 kortermaja, mis on vaja energiasäästlikumaks renoveerida; klassikalisel platsimeetodil kuluks selleks 100 aastat või rohkemgi. Tehaseline meetod võimaldab renoveerida palju kiiremini.

Arutelukoht klassile

Milline on rohetehnoloogia kümne aasta pärast – mis on selleks ajaks kõige rohkem muutunud? Vastused võiks panna tahvlile kirja ja tunni lõpus nende juurde tagasi tulla, et võrrelda neid tegelike arengusuundadega.

2 Läbimurded rohetehnoloogia arengus

IEA jälgib iga tehnoloogia **valmidustaset** – kas tegu on laboriidee, katsetatava prototüübi või turuküpse lahendusega. Sama mõte aitab ilmestada ka tuleviku tehnoloogiaid. Vaatame näitena mõnede tehnoloogiate arengut **küpsuse järgi**: mis on juba praegu levimas, mis on läbimurde lävel ja mis alles arenemas. Nõnda näevad õpilased, et „tuleviku“ tehnoloogiad ei ole kõik ühel kaugusel – mõni on juba laialt kasutusel, teine alles katsejärgus.

2.1 Juba levinud rohetehnoloogiad

> Tehnoloogia on valmis ja levib praegu kiiresti

Päikese- ja tuuleenergia tehnoloogia on muutunud nii odavaks ja töökindlaks, et maailmas lisatakse taastuvenergia võimsust rekordkiirusel – suurem osa kogu uuest elektritootmisvõimsusest tuleb just sealt.

Ka **elektritransport** levib jõudsalt: elektriautode hulk ja laadimistaristu kasvavad aasta-aastalt. Need pole enam katsetused, vaid turul olevad lahendused, mille mõju on juba praegu mõõdetav.

2.2 Läbimurde lävel olevad tehnoloogiad

> Tehnoloogia toimib, kuid on veel kallis või vähe levinud

Järgmised lahendused on tehniliselt valmis, kuid alles hakkavad laiemalt levima. Osa neist lahendab rohepöörde **kitsaskohti** (näiteks energia talletamist), osa **asendab saastavaid materjale** puhtamatega.

Vee elektrolüüsi teel päikese- ja tuuleenergia abil toodetud vesinik ehk **roheline vesinik** on üks keskkonna- ja kliimasõbralikumaid energiakandjaid. Rohelise vesiniku peamine eelis on see, et selle kasutamisel ei teki süsinikdioksiidi, sest vesiniku molekulis pole süsinikku. Vesiniku kasutuselevõtt võib ulatuslikult vähendada kasvuhoonegaaside hulka tööstuses, transpordis ja energiatootmises.

Vesinik ei ole energiaallikas, vaid energiakandja – ta ei tooda energiat ise, vaid salvestab mujalt (näiteks päikesest ja tuulest) saadud energiat ja annab selle hiljem tagasi. Selle poolest sarnaneb ta pigem akuga kui päikesepaneeliga.

Hetkel toodetakse maailmas valdav osa (üle 90%) vesinikust fossiilkütuseid kasutades, kuid aastaks 2030 prognoositakse rohelise vesiniku osakaalu mitmekümnekordset kasvu. See kasv on suur protsendina, kuid absoluutmaht jääb endiselt väikeseks.

Rohelist vesinikku kasutatakse juba seal, kus vesinik on niikuinii ammu tarvitusel olnud – väetiste tootmisel (ammoniaak), naftatöötlemisel ja keemiatööstuses; nendes asendab roheline vesinik järk-järgult fossiilset. Uutest kasutusaladest kasvab kõige kiiremini roheline teras, kus vesinik asendab kivisütt – Rootsis on HYBRIT-projekti raames edukalt katsetatud vesinikupõhist terasetootmist ja liigutakse tööstuslikku mastaapi. Laienemas on vesinik ka laevanduses, raskeveokites ja pikaajalises energiasalvestuses.

Vesinikutehnoloogias on Eestil arvestatav potentsiaal korraga nii teadusarenduses, vesiniku tootmises kui ka selle kasutamises. Ulatuslikku majanduslikku kasu on loota taristu arendamisest, näiteks süvasadamates vesinikutranspordi võimaluste loomine, vesinikutorustiku rajamine ja päikese- ja tuuleparkide ning nende taristute integreerimine vesiniku tootmise ja transpordiga.[2]

Energia salvestamine on rohepöörde üks suuremaid pudelikaelu: päike ja tuul ei tooda ühtlaselt, mistõttu energiat tuleb osata talletada. Korraga areneb kaks suunda – uued **akutehnoloogiad** (näiteks naatriumipõhised akud, mis kasutavad haruldase liitiumi asemel tavalist soola) ja vesiniku kasutamine salvestina, kus suvine üleliigne päikeseenergia muudetakse vesinikuks ja hoitakse talveks alles. Tehisintellekt aitab peenhäälestada, ennustades tootmist ja tasakaalustades võrku.

Uued rohelised materjalid on materjaliteaduse põnevaim osa ja seotud jääkide väärindamise ning ringmajandusega. **Biopõhised pakendid** – seente juurestikust ehk mütseeliumist või vetikatest kasvatatud materjalid – asendavad naftapõhist plasti ja lagunevad looduslikult; suured ettevõtted nagu IKEA ja Dell kasutavad mütseeliumpakendit juba praegu, ehkki turuosa on veel väike. **Puidupõhine ehitus** on jõudnud veelgi kaugemale: liimpuidust ehitatakse juba mitmekorruselisi maju, koole ja kontoreid. Puit asendab energiamahukat terast ja betooni ning seob endasse süsinikku.

Arutelukoht: kas puitmaja on automaatselt roheline?

Mitte tingimata. Puit on roheline ainult siis, kui see tuleb säästvalt majandatud metsast – vastutustundetu raie korral võib kasu hoopis kaduda. „Roheline“ pole vaid materjali enda omadus, vaid kogu ahela omadus.

2.3 Alles arenemisjärgus rohetehnoloogiad

> Lahendus on olemas, kuid veel kallis või tõestamata

Süsiniku kogumine on mõeldud tööstusharudele, mis ei suuda heidet lähiajal täielikult kaotada, näiteks tsemendi- ja terasetootmisele. Tehnoloogia püüab süsinikdioksiidi kinni juba enne õhku jõudmist ning ladustab selle sügavale maapõue või kasutab uute toodete valmistamiseks. Mõnel pool – näiteks maagaasitööstuses – on kogumine juba aastaid kasutusel, kuid raskemates valdkondades nagu tsementitootmine ja eriti süsiniku otsekogumine õhust on see veel kallis ja alles levimas. See ei asenda üleminekut taastuvenergiale, vaid täiendab seda seal, kus muud lahendust veel pole – ja on praegu veel kallis ning vaidlusi tekitav.

[2] https://arenguseire.ee/raportid/vesinikutehnoloogia-hetkeseis-ja-valjavaated/

Kus on võimalik eksida: „biolagunev materjal“ ei tähenda alati head

Sõna „biolagunev“ kõlab rahustavalt, kuid paljud sellised materjalid lagunevad ainult kindlates tingimustes – näiteks tööstuslikus kompostis, mitte looduses – ammugi mitte ookeanis. „Biolagunev“ ei tähenda seega automaatselt „keskkonnasõbralikku“. Alati tasub järele uurida, kus ja kui kiiresti materjal tegelikult laguneb.

3 Jääkide väärindamise tulevik

Ringmajandus on majandusmudel, milles tooted ja materjalid on kavandatud nii, et need jääksid kasutusse võimalikult kaua – neid parandatakse, uuendatakse ja võetakse kasutusea lõpus ringlusse uue tooraine allikana. Erinevalt lineaarmajandusest (võta → tooda → viska ära) ei lõpe materjali teekond prügikastis, vaid algab uuesti.

**Täpsemalt käsitletakse ringmajandust Teema 1 õppematerjalis.* Teema 1 näitas, kuidas jääke täna väärindatakse. Tulevikus võib aga jäägist saada kavandatud ressurss juba enne, kui toode üldse valmib.

3.1 Tööstussümbioos: ühe jääk on teise tooraine

Tööstussümbioos tähendab, et eri ettevõtted seovad oma protsessid kokku nõnda, et ühe tehase jääk muutub teise tooraineks. Ühe tehase heitsoojus võib kütta naabertehast, ühe tootja saepuru muutuda teise pelletiks ja toidutööstuse kõrvalsaadus jõuda loomasööda tooraineks. Tekib ettevõtete võrgustik, kus jäätmeid praktiliselt ei sünnigi – kõik liigub kellegi teise juures edasi.

Kuidas erinevaid tööstusjääke väärindatakse

Järgnev tabel illustreerib, kuidas erinevad tehnoloogiad tööstuse jäägi väärtuseks muudavad.

Jääk	Väärindamise tehnoloogia	Kus seda kohtab
Puidu- ja saetööstuse jäägid	Pressimine pelletiteks ning biokütuste ja biomaterjalide valmistamine.	Puidutööstuses, energiatootjate ja katlamajade juures.
Toidu- ja põllumajandusjäägid	Käärimisel saadakse biogaasi (elekter ja soojus); jääk sobib ka loomasöödaks või mullaparandajaks.	Biogaasijaamades, toidutööstuses ja põllumajanduses.
Tuhk (nt põlevkivi- ja puidutuhk)	Kasutatakse ehitusmaterjalides (näiteks tsemendi koostises) ja teedeehituse täitematerjalina.	Energia- ja ehitustööstuses.
Vana plast ja metall	Sorteeritakse, puhastatakse ja töödeldakse ümber uue toote tooraineks; metalli saab ringlusse võtta korduvalt.	Taaskasutus- ja pakenditööstuses.
Tekstiili- ja rõivajäägid	Suurem osa muudetakse praegu isolatsiooniks ja täitematerjaliks; kiudude eraldamine uuteks tekstiilideks on alles kasvav suund.	Tekstiili- ja taaskasutustööstuses.

3.2 Digitaalsed tootepassid

Lähiaastatel hakkavad paljud tooted kandma **digitaalset tootepassi** – QR-koodi, mille skannimisel avaneb toote koostis, päritolu ning juhis, kuidas seda parandada või ringlusse anda. See lihtsustab jääkide väärindamist, sest teave materjalide kohta on kohe käepärast. Euroopa Liit on seadnud sihi, et sellised passid muutuvad järgmistel aastatel paljudel toodetel kohustuslikuks.

3.3 Õigus parandada

Üks märkimisväärsemaid hiljutisi muudatusi on niinimetatud parandamisõigus. Euroopa Liidu reeglid suunavad tootjaid hoidma varuosi saadaval ja tagama parandamisvõimaluse. See tähendab, et ühe katkise osa pärast ei pea enam tervet toodet ära viskama – selle saab korda teha. Nõnda pikeneb toodete iga ja jäätmeteke hoitakse ära juba alguses.

4 Väljakutsetest tuleb rääkida

Rohetehnoloogia ei lahenda kõike iseenesest ja ausa pildi saamiseks tasub ka keerulised kohad välja tuua.

• **Kriitilised toormed**. Akud ja tuulegeneraatorid vajavad materjale nagu liitium, koobalt ja haruldased muldmetallid, mille kaevandamine on koondunud vähestesse riikidesse ja võib endaga kaasa tuua uusi keskkonna- ning eetikamuresid. Lahendust pakuvad materjalide ringlussevõtt ja levinumate toorainete, näiteks naatriumi, kasutuselevõtt.

• **Energia salvestamise küsimus**: päike ja tuul ei tooda ühtlaselt ning suurte energiakoguste talletamine on endiselt tehniline väljakutse, mille üks võimalik vastus on roheline vesinik.

• **Õiglane üleminek**. Rohetehnoloogiatele üleminek muudab ka olemasolevaid töökohti ning piirkonnad ja inimesed, kelle elatis on seotud fossiilkütustega, vajavad ümberõpet ja tuge.

5 Mida saab igaüks tuleviku heaks teha

Rohemajandus ei sünni üksnes ettevõtetes ja laborites – see saab alguse ka tänastest tarbijavalikutest ja huvist.

Tuleviku oskused

Rohetehnoloogia vajab inimesi, kes mõistavad keemiat, füüsikat, bioloogiat ja andmeid, nii et huvi loodus- ja täppisteaduste vastu avab tulevikutööturul uksi. Vähem tähtis pole oskus märgata probleeme ja kavandada neile uusi lahendusi.

6 Kokkuvõtteks

Rohetehnoloogia on juba täna kiiresti arenev valdkond – taastuvenergia, elektritransport ja ringmajandus levivad jõudsalt. Järgmised läbimurded on roheline vesinik, tehisintellekti rakendamine, süsiniku kogumine ja uued materjalid, ning paljud neist on tihedalt seotud jääkide väärindamisega. Jääkide väärindamine ise muutub nutikamaks: tööstussümbioos, digitaalsed tootepassid ja parandamisõigus teevad jäätmetekke vältimisest normi. Ausa pildi huvides ei tohi

unustada väljakutseid – kriitilisi toormeid, energia salvestamist ja õiglast üleminekut. Ja kõige selle juures saab igaüks panustada, nii tänaste tegude kui ka tuleviku oskustega.

TOETAB

Projekti rahastas Sihtasutus Keskkonnainvesteeringute Keskus · KIK toetab · kik.ee